

02;05;06;10

Исследование методом розерфордовского обратного рассеяния распределения ионно-имплантированных атомов марганца в кремнии

© Б.Э. Эгамбердиев, М.Ю. Адылов

Ташкентский государственный технический университет
имени Абу Райхана Беруни

В окончательной редакции 4 сентября 2000 г.

Приводятся результаты исследования профилей распределения имплантированных атомов марганца в кремнии в зависимости от дозы облучения и температуры отжига методом розерфордовского обратного рассеяния (РОР). Полученные результаты хорошо согласуются с аналогичными данными, полученными другим методом. Изучено влияние термического отжига на распределение Mn и других примесей, в частности кислорода. Отмечена возможность использования метода РОР для анализа как концентрационного распределения легирующих примесей, так и взаимодействия примесей.

Получение тонких слоев имплантированных атомов в приповерхностной области Si с заданными электрофизическими свойствами и определенной толщиной важно, в частности, для технологии создания различных датчиков и приборов высокой чувствительности.

Наиболее интересным в этой области является введение примеси элементов переходных групп, в частности марганца. С технологической точки зрения создать тонкие слои в кремнии с ограниченной глубиной и достаточной концентрацией диффузионным методом невозможно из-за большого значения коэффициента диффузии этих элементов. Поэтому прибегают к методу ионно-лучевого легирования.

Так как примеси Mn в Si могут находиться как в узлах, так и в междоузлиях кристаллической решетки и взаимодействовать с дефектами решетки, то распределение их при ионной имплантации и механизм их активации представляют определенный интерес. Однако в литературе практически отсутствуют работы, посвященные ионной им-

плантации и исследованию профиля распределения по глубине марганца в кремнии.

Целью настоящих исследований является изучение профилей распределения имплантированных атомов марганца в кремнии в зависимости от дозы облучения и температуры отжига.

Как известно, традиционными методами изучения профиля распределения ионно-имплантированных слоев являются вторичноионная масс-спектрометрия и Оже-спектроскопия с послойным удалением. Этими методами не удастся получить достаточно точных количественных данных о концентрации легирующих примесей, необходимых для получения тонких слоев с заданными электрофизическими свойствами.

Поэтому в данной работе для исследования профилей распределения легирующей примеси Mn и влияния температуры активации на ее распределение применен метод розерфордовского обратного рассеяния (POP).

Использовали пластины монокристаллического кремния марки КДБ с $p = 10 \Omega \cdot \text{cm}$. Имплантацию ионов Mn осуществляли на установке ИЛУ-3 при энергии ионов 40 keV вдоль кристаллографической оси (111). Дозу имплантации (N_{\square}) варьировали в пределах $10^{15} - 10^{17} \text{ ion/cm}^2$. Удельное сопротивление образцов измеряли 4-зондовым методом.

На рис. 1 приведены профили распределения в кремнии имплантированных ионов марганца при различных дозах имплантации. Независимо от дозы имплантации распределение описывается гауссовской функцией. При этом глубина проецированного пробега (R_p) в зависимости от дозы облучения лежит в пределах 398–410 Å. Это хорошо совпадает с данными исследования образцов другими методами, например ВИМС [1].

Исследования методом POP образцов Si после имплантации Mn дозой 10^{15} ion/cm^2 дали следующие результаты: на поверхности образца Si — 82.7%, O — 17%, Mn — 0.5% (u); на глубине $\sim 200 \text{ Å}$ они составляют Si — 88%, O — 10% и Mn — 2% (u); в пределах чувствительности метода марганец наблюдается до глубины $\sim 600 \text{ Å}$, а кислород $\sim 900 \text{ Å}$. Для кремниевых пластин после ионной имплантации Mn дозой 10^{16} ion/cm^2 : на поверхности Si — 69%, O — 29%, Mn — 2% u; существенное изменение процентного содержания наблюдается на глубине порядка $\sim 200 \text{ Å}$, где Si — 76%, O — 18%, Mn — 6% u; в пределах чувствительности метода Mn наблюдается до глубины 650 Å;

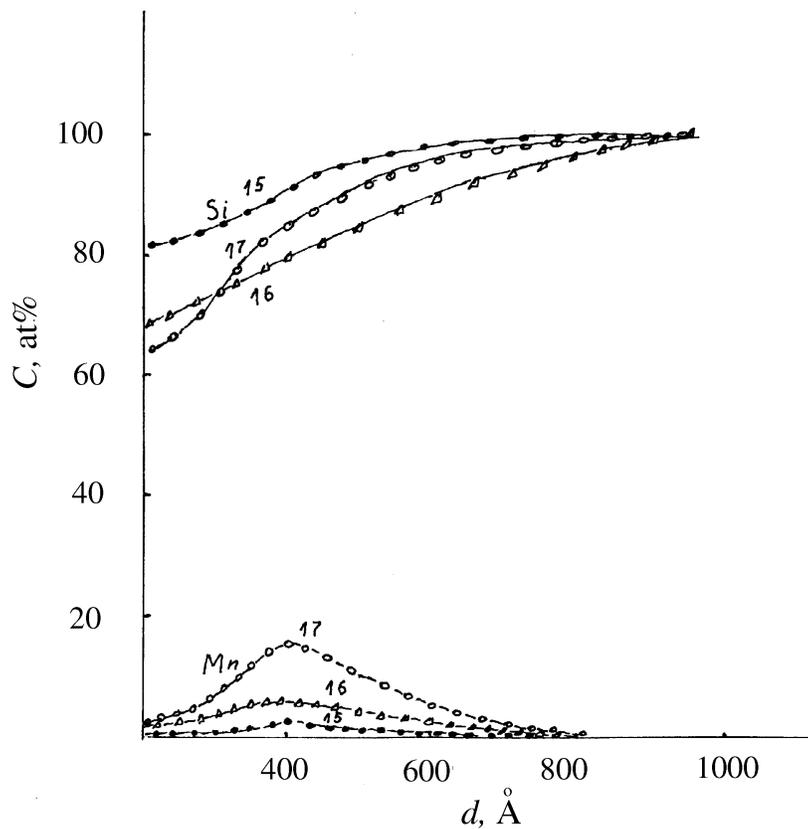


Рис. 1. Начальное распределение концентрации Mn в кремнии по глубине при дозах облучения $10^{15} - 10^{17} \text{ ion}/\text{cm}^2$.

начиная с этой глубины отмечается резкое изменение содержания O; на глубине $\sim 900 \text{ \AA}$ кислород практически не чувствуется. При имплантации Mn дозой $10^{17} \text{ ion}/\text{cm}^2$ наблюдается следующая картина: на поверхности образца Si — 64%, O — 34% и Mn — 2%; на глубине $\sim 200 \text{ \AA}$ Si — 82%, O — 3%, Mn — 15% (u).

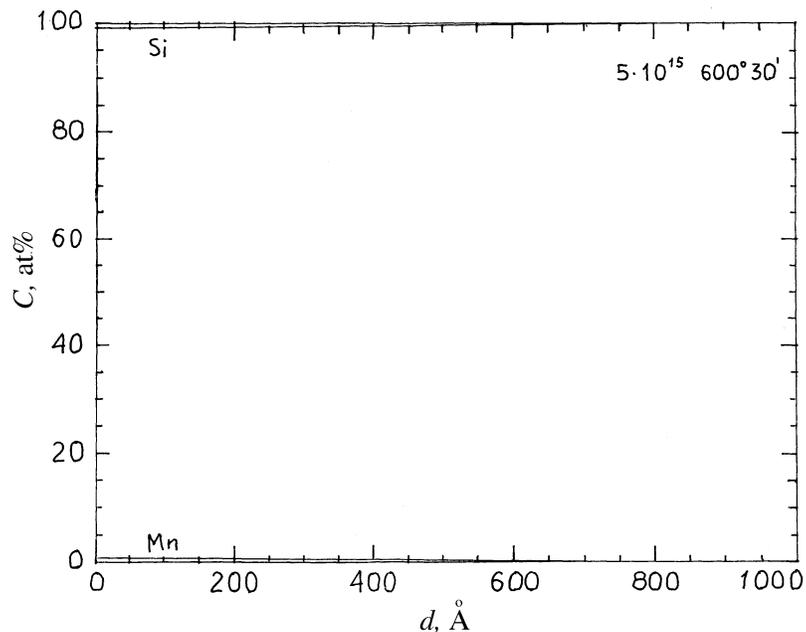


Рис. 2. Распределение концентрации Mn в кремнии по глубине при дозе облучения 10^{15} ion/cm² после отжига при температуре 600°C в течение 30 min.

Анализ полученных данных показывает, что в процессе ионной имплантации как на поверхности образца, так и на глубине максимума распределения Mn меняется содержание кислорода. Можно предположить, что внедренные ионы Mn в основном вытесняют кислород. Это предположение оправдывается в случае, если кислород в кристалле кремния находится в свободном состоянии.

Большой научный и практический интерес представляет влияние термического отжига на поведение легирующих примесей, в частности на распределение по глубине. Ниже приводятся результаты исследования влияния термического отжига в течение 30 min на распределение Mn по глубине в образцах кремния (рис. 2). Как видно, температурный отжиг при 600°C существенно не влияет на распределе-

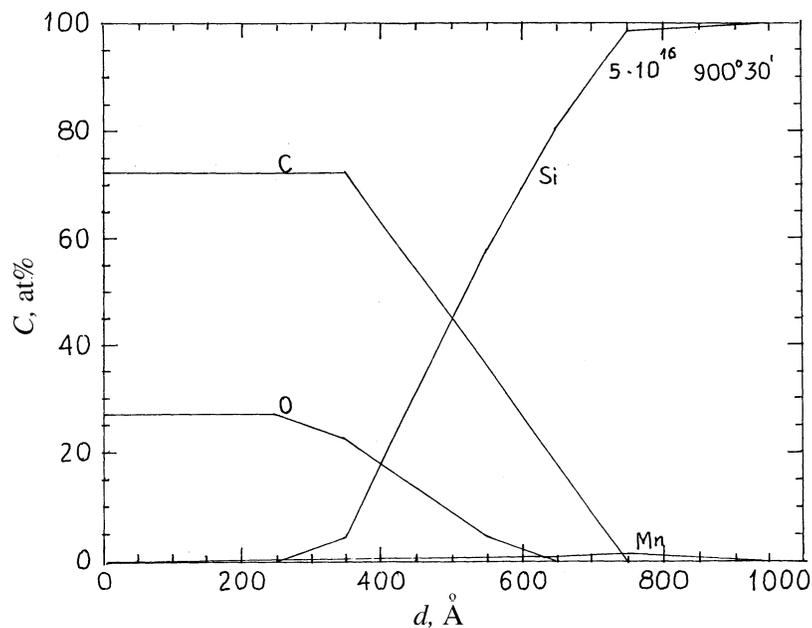


Рис. 3. Распределение концентрации Mn в кремнии по глубине при дозе облучения 10^{16} ion/cm² после отжига при температуре 900°C в течение 30 min.

ние примесей по глубине. Сильное влияние начинается при температурах 900°C . Для образцов, легированных Mn дозой 10^{15} ion/cm², максимум распределения перемещается на глубину ~ 800 Å и составляет $\sim 2\%$ и (рис. 3). При этом на поверхности Mn не регистрируется, кислород уменьшается до 27% и; на глубине 800 Å O не регистрируется.

Для образцов, легированных дозой 10^{16} ion/cm², отжиг в течение 30 min при температуре 600°C практически не влияет на распределение Mn: наблюдается размытие максимума. При температуре отжига 900°C максимум распределения перемещается на глубину 800 Å и уменьшается до 5% и. Распределение примесей для образцов, легированных Mn дозой 10^{17} , при отжиге претерпевает существенные изменения. Отжиг

при 600°C в течение 30 min приводит к сдвигу максимума распределения примесей на глубину 380 Å и некоторому увеличению содержания их на поверхности. Отжиг при 900°C в течение 30 min сильно влияет на распределение Mn: максимум смещается на глубину 600 Å; форма распределения становится более полой; Mn наблюдается до глубины ~ 1200 Å в количестве ~ 5% и.

Анализ полученных данных дает основание утверждать, что с помощью РОР можно не только получить сведения о распределении примесей по глубине образцов в относительных единицах, но и измерить количественные характеристики.

На наш взгляд, интересной является связь между распределением марганца и кислорода в кристаллах кремния. Сопоставление этих распределений показывает, что максимуму концентрации Mn соответствует минимум концентрации O и наоборот. Для нелегированных исходных образцов Si наблюдается распределение кислорода с некоторым избытком на поверхности, монотонным убыванием его в глубь образца, далее имеет место постоянная концентрация. После ионной имплантации это распределение претерпевает изменение. Концентрация на поверхности и в приповерхностных областях увеличивается, в области максимума концентрации Mn наблюдается резкий спад концентрации кислорода. Такое изменение происходит для всех образцов с различной дозой облучения.

Основываясь на полученных результатах, можно утверждать, что марганец при ионной имплантации в основном замещает кислород. Это утверждение справедливо, если внутри объема кремния кислород находится в несвязанном состоянии.

Процесс ионной имплантации влияет на распределение не только кислорода, но и дефектов. Созданные дефекты как на поверхности, так и в глубине Si открывают свободные радикалы, которые притягивают к себе свободные частицы, в частности O.

Выводы. Изучены профили распределения Mn с различной дозой облучения в Si методом РОР. Полученные результаты хорошо согласуются с аналогичными данными, полученными методом ВИМС. Изучено влияние термического отжига на распределение Mn и кислорода. Отмечена возможность использования метода РОР для анализа как распределения концентрации легирующих примесей, так и взаимодействия примесей между собой.

Для подтверждения всех сделанных выводов необходимо исследовать структуру самой кристаллической решетки и ее дефектность.

Список литературы

- [1] *Бахадырханов М.К., Эгамбердиев Б.Э., Абдугаббаров М.С., Хайдаров К.* // Неорганические материалы. РАН. 1995. Т. 31. № 3. С. 301–303.